

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-132408

(43)Date of publication of application : 15.05.2001

(51)Int.Cl.

F01D 9/02  
B22D 29/00  
B22D 31/00  
B23H 9/10

(21)Application number : 2000-163929

(71)Applicant : GENERAL ELECTRIC CO &lt;GE&gt;

(22)Date of filing : 01.06.2000

(72)Inventor : JONES RAYMOND JOSEPH  
BOJAPPA PARVAGADA  
GANAPATHY  
KIRKPATRIK FRANCIS LAWRENCE  
SCHOTSCH MARGARET JONES  
RAJAN RAJIV  
WEI BIN

(30)Priority

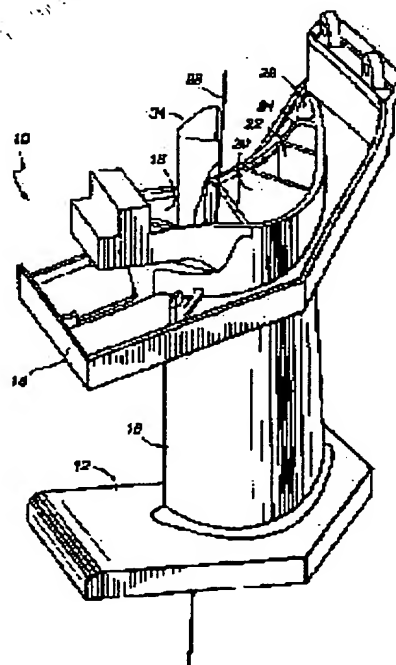
Priority number : 1999 324403 Priority date : 02.06.1999 Priority country : US

**(54) METHOD OF REDUCING THICKNESS OF TURBINE NOZZLE WALL BY ELECTRIC DISCHARGE MACHINING AFTER CASTING**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method of reducing the wall thickness of a turbine nozzle capable of improving yield of casting as well as reducing thermal stress.

**SOLUTION:** For removing material 34 from an inner surface of a cavity 18 in a nozzle stationary blade 16 of a turbine, a process of electric discharge machining (EDM) is used after casting. A thin electrode 28 passes the inside of the cavity 18 between facing ends of the nozzle stationary blade 16 to move along a preset route along a nozzle inner wall for removing the material 34, so a wall thickness of the wall between the nozzle cavity 18 and an outer surface of it is reduced. In another mode, an outline form body 42 is disposed in the cavity 18 in the EDM process using an outline form body 42 as an electrode, and it is advanced toward the wall till a final wall thickness is achieved to set the form of the inner wall surface to be complementary to a surface of the outline form body 42, thereby the material 34 is removed from the wall.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-132408

(P2001-132408A)

(43) 公開日 平成13年5月15日 (2001.5.15)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
F 0 1 D 9/02	1 0 2	F 0 1 D 9/02	1 0 2
B 2 2 D 29/00		B 2 2 D 29/00	G
31/00		31/00	Z
B 2 3 H 9/10		B 2 3 H 9/10	

審査請求 未請求 請求項の数10 O L 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2000-163929(P2000-163929)

(22) 出願日 平成12年6月1日(2000.6.1)

(31) 優先権主張番号 09/324403

(32) 優先日 平成11年6月2日(1999.6.2)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390041542

ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ  
GENERAL ELECTRIC CO  
MPANY

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
クタディ、リバーロード、1番

(72) 発明者 レイモンド・ジョセフ・ジョーンズ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、デュア  
ネスバーグ、デュアネスバーグ・ロード、  
ボックス・142-ジー、アール. アール.  
ナンバー1番

(74) 代理人 100093908

弁理士 松本 研一

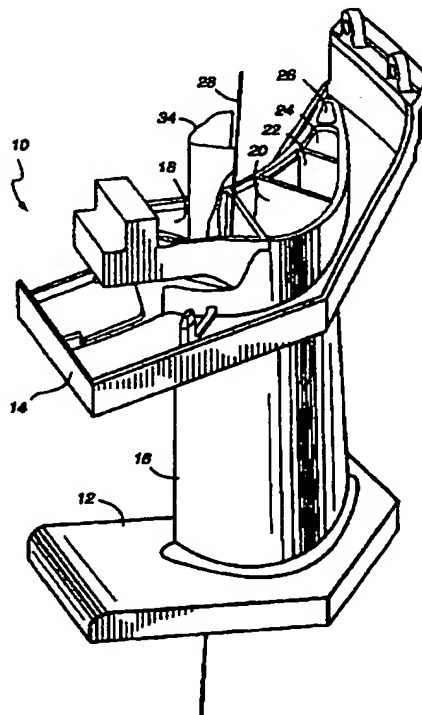
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 タービンノズル壁の厚みを鋳造後放電加工で低減する方法

(57) 【要約】

【課題】 熱応力を低減するだけでなく鋳造の歩留まりも改善するタービンノズルの壁厚を低減する方法。

【解決手段】 タービンのノズル静翼の空洞の内面から素材(34)を取り除くために鋳造後に放電加工(EDM)工程が用いられる。細い電極(28)がノズル静翼(16)の対向する端の間の空洞(18)内を通りノズル内壁に沿って前もって設定した経路に従って移動して素材(34)を取り除き、その結果ノズルの空洞と外面の間の壁の壁厚を低減する。別の形態においては、電極として輪郭形状体(42)を使用するEDM工程で輪郭形状体が空洞(18)に配置され最終的な壁厚が達成され内壁面の形状が輪郭形状体表面と相補的になるまで壁に向けて前進されて壁から素材を取り除く。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ノズル (10) がノズルの半径方向内側と外側の対向する端の間に開口する空洞 (18) を有するガスタービンの薄壁のノズルを形成する方法において、

この空洞を内蔵するノズルを鋳造する工程と、電極 (28、42) を含む放電加工装置を使用して鋳造後の前記空洞の内壁に沿って鋳造した素材 (34) を取り除いて最終的な内壁面を形成し、それによってノズルの外面と最終的な前記空洞の内壁面の間の壁の厚みを低減する工程とを含む方法。

【請求項 2】 鋳造した素材を取り除くために細い電極 (28) の放電加工法を用いることを含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 前記空洞の前記内壁に沿って前記細い電極 (28) を導くことを含む請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】 空洞 (18) は前記ノズルの翼前縁に隣接した位置にあり前記翼前縁と対向する前記空洞の内壁に沿って鋳造した素材を取り除く請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】 放電加工工程で使用される電極は表面 (40) が粗くしてあり、前記空洞内に概して相補的な粗い形状の内壁面を形成するために前記内壁に前記電極を当てる請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】 鋳造した素材を取り除く電極を有する放電加工装置を使用し、前記電極は表面が粗くしてあり、前記空洞内に概して相補的な粗い形状の内壁面を形成するために前記内壁に前記電極を当てることを含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】 放電加工装置は輪郭形状体 (42) を含み、最終的な前記空洞の前記内壁面の輪郭に一致する輪郭形状体の表面 (44) を形成し、前記輪郭形状体の表面と内壁面がお互いに実質的に相補的になるまで鋳造した素材を取り除くために前記輪郭形状体を前記空洞の前記内壁に当てることを含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 8】 前記輪郭形状体表面上に粗くした表面 (50) を形成し、前記内壁に前記輪郭形状体を当てて相補的に粗くした前記空洞の前記内壁面を形成することを含む請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】 放電加工工程で使用される電極は表面 (40) を粗くした細い電極 (28) であり、前記空洞は前記ノズルの翼前縁に隣接する位置にあり、前記翼前縁と対向する前記空洞の前記内壁に沿って前記表面を粗くした細い電極を導いて前記空洞内に概して相補的な粗くした内壁面を形成する工程を含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】 放電加工装置は輪郭形状体 (42) を含み、最終的な前記空洞の前記内壁面の輪郭 (48) に一致する輪郭形状体の表面を形成する工程と、前記輪郭形状体の表面 (44) と内壁面 (48) がお互いに実質的に相補的になるまで鋳造した素材を取り除くために前

記輪郭形状体を前記空洞 (18) の前記内壁 (46) に当てる工程とを含む請求項 1 記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は放電加工 (EDM) 装置を使用してタービンノズル壁の厚みを低減する方法に関し、特に鋳造後に EDM 装置を使用してノズルの対向する端の内部および間に伸びる空洞の内壁から素材を取り除き熱応力を低減して鋳造の歩留まりを改善する操作に関する。

## 【0002】

【発明の背景】 ガスタービンの設計において、軸方向に間隔をとって配置される複数の環状ノズル配列はタービンの各ノズル段を形成し、各配列はタービンローター軸のまわりに円周方向に配列される複数のノズル部分を含む。各ノズル部分は、鋳造素材、例えば、ニッケル基合金で一体的に形成されるのが好ましい 1 個以上の静翼および内側と外側の各バンドセクションを含む。これらバンドセクションの間のノズル静翼内部にノズルを冷却するための冷却媒体を流す空洞が鋳造される。ノズル空洞内を流れる熱媒体とタービンの高温ガス通路に沿って流れる燃焼高温ガスとの間には温度差が存在することが了解されよう。その温度差はノズルの素材内部の熱応力の原因となる。空洞の内面とノズルの外面間の壁厚、特にノズルの翼前縁に隣接する壁厚を減らすことによって温度差に起因するこれらの熱応力を最小にすることができ。しかしながら、薄壁のノズルをインベストメント鋳造法で製造することは難しい。素材の健全性と同様、公差の制御も壁厚によって影響を受ける。一般に、壁の厚さが薄ければ薄いほど、ノズルを鋳造することが難しくなり、その結果鋳造の歩留まりが低減する。したがって、熱応力を低減するだけでなく、鋳造の歩留まりも改善するタービンノズルの壁厚を低減する方法が必要とされている。

## 【0003】

【発明の簡単な要約】 この発明の好ましい実施態様によれば、タービンノズルの内壁から素材を取り除いてノズル壁厚を低減し、従って熱により引き起こされる応力を低減しながら鋳造の歩留まりを改善する方法が提供される。特に、ノズルの空洞の内壁から素材を取り除くために鋳造後に放電加工工程が用いられる。好ましい実施態様においては、EDM 法はノズルの空洞内に配置され空洞の内壁に沿って移動可能で素材を取り除きその結果内壁の壁厚を望ましい厚さに低減できる細い電極を使用する。ノズルを鋳造した後にこの加工操作を行なうことによって、鋳造公差の制御と素材の健全性はおおきく改善され、その結果鋳造の歩留まりが増加し、同時に壁厚を減らしたことによって望み通りの熱応力の低減が得られる。

【0004】 この発明の他の好ましい実施態様において

10

20

30

40

50

は、輪郭形状体の形体の電極およびプランジ切削を使用するEDM法を用いることもできる。この実施態様においては、表面が最終的な空洞の内壁面の輪郭に一致する輪郭形状体が空洞の内壁に対して当接される。空洞の内壁に当接させて輪郭形状体を進めていくのにもとない、素材が取り去られて輪郭形状体の表面と内壁面がほぼ相補的な形状になる。輪郭形状体の前進は、望ましい壁厚が得られるまで継続する。

【0005】これら好ましい実施態様の両方において、粗くした内壁面を形成することもできる。例えば、粗くした細い電極を用意するために電極表面上に突起を形成することができ、これを使って表面を粗くした電極を空洞の内壁に沿って移動し電極の粗くした表面と形状が相補的になる最終的な内壁面を形成することができる。輪郭形状体も同じように表面を粗くすることができその結果、空洞内壁面の最終的な輪郭は粗くした輪郭形状体表面と相補的に同じように粗くなる。

【0006】この発明による好ましい実施態様においては、ノズルがノズルの半径方向内側と外側の対向する端の間に開口する空洞を有するガスタービンの薄壁のノズルを形成する方法において、この空洞を内蔵するノズルを鋳造する工程と、電極を含む放電加工装置を使用して鋳造後の空洞の内壁に沿って鋳造した素材を取り除いて最終的な内壁面を形成し、それによってノズルの外面と最終的な空洞内壁面の間の壁の厚みを低減する工程とを含む方法が提供される。

【0007】

【発明の詳細な記述】図1について説明すると、総じて10で示され、単一のノズル静翼16の対向する端にそれぞれ隣接する内側バンドセクション12および外側バンドセクション14を有するノズル部分が示されている。例示されているノズル部分はタービンローター軸のまわりに円周方向に整列して配置されてタービンの1つのノズル段を形成する複数のノズル部分の1つを形成し、内側バンドセクション12および外側バンドセクション14がノズル段の内側および外側バンドの部分それぞれ形成していることが了解されよう。また、内側バンドセクション12および外側バンドセクション14の間に単一の静翼16が示されているが、これらバンドセクションの間に2個以上の静翼を設置して、例えば、二重の静翼または三重の静翼を形成することができることが了解されよう。例示のように、ノズル静翼16は、内側バンドセクション12および外側バンドセクション14と同様に、静翼の全長に及ぶ内部の空洞を有する。例えば、図1に示したように、翼前縁の空洞18が中間の空洞20、22、24および翼後縁の空洞26の前方に示される。この発明の一部を形成してはいないが、これらの空洞はタービンの高温ガス通路に沿って流れる燃焼高温ガスに晒される内側と外側のバンドおよび静翼を冷却する熱媒体を流す通路を与えることが了解されよう。

例えば、バンドおよびノズルを冷却するために空気、蒸気または空気と蒸気の両方をそれぞれの空洞に通すことができる。

【0008】ノズル部分10は鋳造素材、好ましくはニッケル合金で形成される。ノズル内の熱応力は燃焼高温ガスおよび空洞を通して流れる冷却媒体に晒される壁の厚みを減らすことによって最小にすることができ、このことは静翼の翼前縁まわりの壁に関して特にあてはまるということが了解されよう。鋳造品の壁厚を減少すると鋳造の歩留まりが減少するので公差および壁厚の制御は益々困難になることが了解されよう。この発明の好ましい実施態様によれば、鋳造の歩留まりの改善並びに壁厚、特に翼前縁の外面と翼前縁の空洞の内壁面の間の壁厚の低減は、鋳造後に行なう放電加工法により空洞の壁の内面から素材を取り除くことによって達成できる。

【0009】特に、図1および図2について説明すると、この発明の好ましい形において、放電加工装置の一部を形成する電極28（図1）、例えば、薄いロッドが対向する端の間の、例えば、内側バンドセクション12および外側バンドセクション14をそれぞれ通る静翼16の空洞および翼前縁の空洞18の内部へ通される。放電加工装置はそれ自体従来からあるものである。この装置を使用するこの発明において、細い電極28は対向する端に据え付けられ、鋳造した空洞、例えば空洞18の壁31に沿って前もって設定した経路に従ってロボット操作で移動できることが好ましいことが了解されよう。図2に示すように、壁31は鋳造されており鋳造した内壁面30と外壁面33の間に静翼16の翼前縁の所で相当の厚みを有する。鋳造品の壁厚は図2の外壁面33と鎖線30間の距離によって示される。この壁の厚みを減らすために、細い電極28が空洞18中を通過させられ移動されて、図2の実線32で示される目的とする内壁面に対応する表面を写実再生し、これにより望ましい壁厚を形成する。細い電極28がその望ましい経路に沿って移動されるにつれて、空洞内壁の素材が切削されこれを単一片、例えば図1に示す素材片34として取り除くことができる。したがって、細い電極28は目的とする内壁面32に対応する経路を写実再生し、これによって空洞18の壁31に沿って切削して、その結果目的とする薄壁形状が鋳造後に形成されることが了解されよう。

【0010】図3について説明すると、壁31に沿った電極28の移動経路は図3の静翼の上端および下端または静翼の外部における基準点36、38でそれぞれ示される。この電極に基準点36および38を順次通過させることにより、空洞の内壁に沿って目的とする複合曲面を形成することができる。電極28は直線的に伸張し、空洞の壁に沿って電極が移動するときもその直線度を維持することが了解されよう。

【0011】熱伝達特性は、例えば、冷却媒体と冷却される表面との間に粗くした表面を使用することにより改

善することができることは公知である。したがって、壁厚が低減されている時、薄くなった空洞の内壁面32を粗くすることが望ましい。このことを達成するために、細い電極28は、図4に示すように、表面40を粗くすることができる。細い電極が前もって設定された経路に沿って移動されるにつれて、内壁面は熱効果を高めるために表面を粗くしたワイヤー電極と相補的な粗い形状になる。

【0012】図5、図6Aおよび図6Bについて説明すると、EDMプラズマ切削法が用いられる。特に、細い電極の代りに輪郭形状体の形体の電極が使用される。図5に示すように、輪郭形状体42はEDM装置の電極を形成し、細い電極28と同様に空洞18を通して伸びる。輪郭形状体42は、EDM工程が完了した後の目的とする最終的な内部空洞の内壁面に対応する前面44を有する。このように、輪郭形状体42を空洞18に挿入することによって、輪郭形状体42の前面44は図6Aに示すように空洞18の現存する鋳造した内壁面46に当接される。目的とする内壁面の形状48に向けて輪郭形状体42を前進することによって、最終的な壁面48を形成することができる。すなわち、図6Bの矢印によって示れるように輪郭形状体42を前進させて鋳造した内壁面46と係合させ、輪郭形状体42の前面44と内壁面48がお互いに相補的になり空洞内の適切な位置にあって望ましい壁厚を形成するまで輪郭形状体42を前進し続け素材は切削されて除かれる。輪郭形状体42は細い電極の場合と同様、熱伝達を改善するために空洞の最終の内壁面48が表面を粗くした輪郭形状体と相補的な粗い形状になるように輪郭形状体表面50を粗くする

ことができる(図5)こともまた了解されよう。

【0013】この開示された方法の結果として、鋳造の歩留まりがおおいに改善される。同時に、壁厚は精密な公差に制御されて熱伝達を改善するだけでなく熱応力も低減することができる。

【0014】現在もっとも実用的で好ましい実施態様と考えられるものに関してこの発明の説明をしたが、この発明は開示された実施態様に限定されるものではなく、むしろ、特許請求の範囲の意図および範囲に含まれる数多の変更態様および同等の構成を網羅するものであることが理解されねばならない。

【図面の簡単な説明】

【図1】ノズル部分のノズル静翼の内部空洞から素材を取り除く位置にある放電加工装置の電極を示すノズル部分の斜視図である。

【図2】放電加工処理前後の空洞の内壁をそれぞれ破線および実線位置によって示す静翼の翼前縁の空洞の部分略図である。

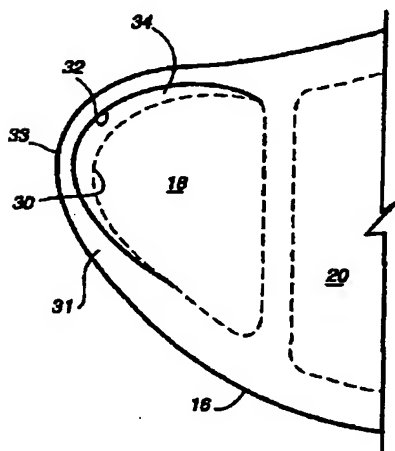
【図3】基準点で取り除かれる素材を示すノズル部分の外側バンドと静翼の翼前縁の空洞の内部を示す部分平面図である。

【図4】空洞の内壁に沿って粗くした表面を形成するEDM装置の電極を示す拡大断面図である。

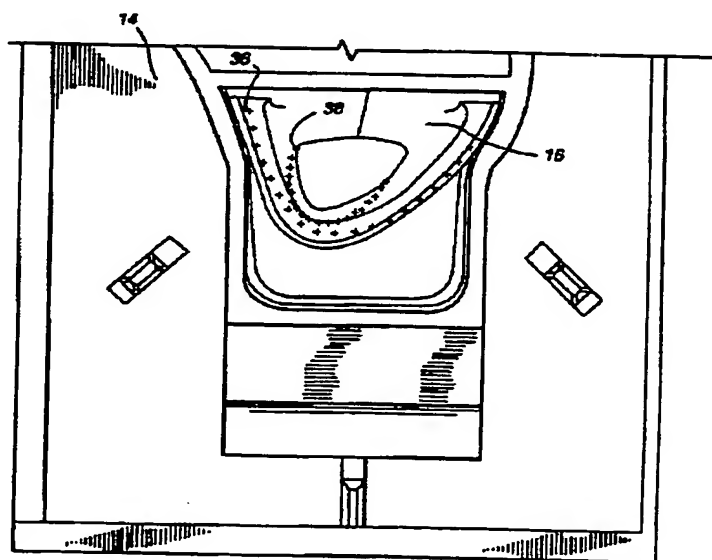
【図5】輪郭形状体の形体の電極を使用して内部空洞壁をプラズマ研削するEDM工程を示す図1に類似の図である。

【図6】Aは輪郭形状体を使用したプラズマ研削の切削前、Bは輪郭形状体を使用したプラズマ研削の切削後の説明図である。

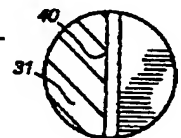
【図2】



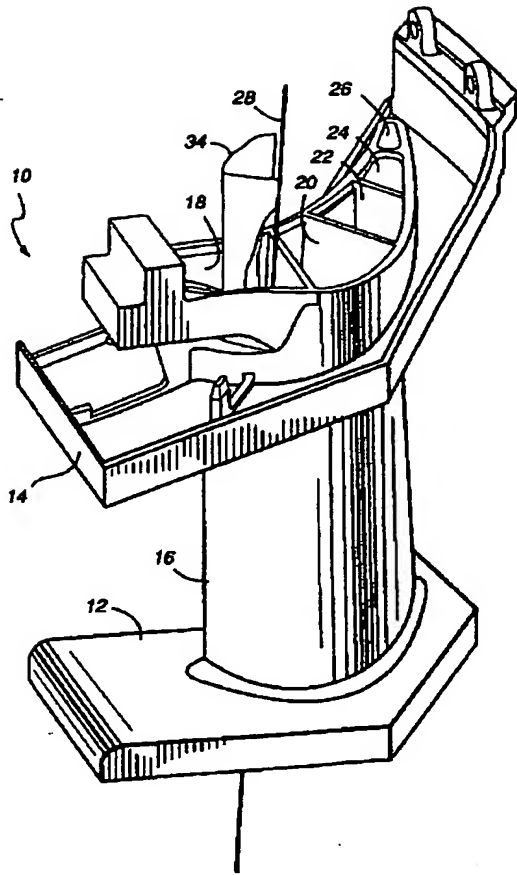
【図3】



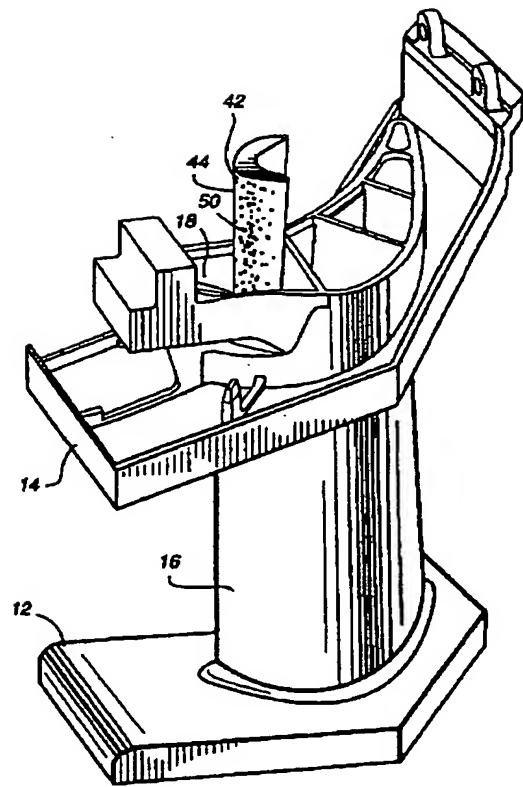
【図4】



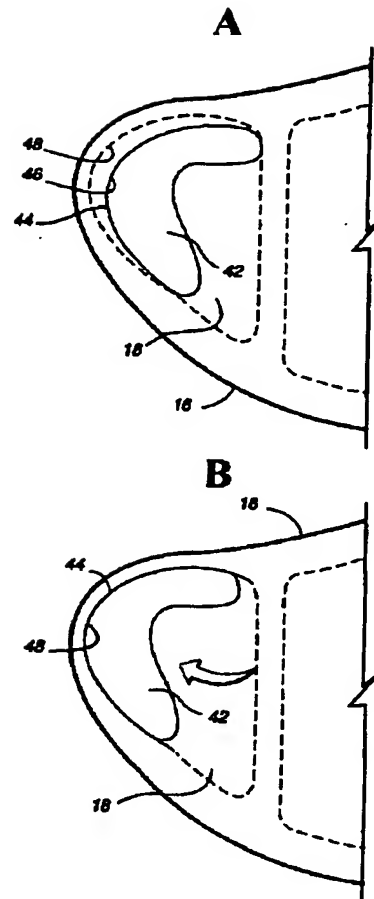
【図 1】



【図 5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 パルバンガダ・ガナバシー・ボジャバ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
クタディ、ステイト・ストリート、225番  
(72)発明者 フランシス・ローレンス・キルクパトリッ  
ク  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ガルウ  
エイ、ルート・29、1274番

(72)発明者 マーガレット・ジョーンズ・スコッチ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフ  
トン・パーク、ストーニー・クリーク・ド  
ライブ、63番  
(72)発明者 ラジブ・ラジャン  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ガイル  
ダーランド、エービーティー、シー、ピシ  
ヨップス・ゲート、67番  
(72)発明者 ビン・ウェイ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、メカニ  
ックビル、ダンフォース・ロード、8番



【外国語明細書】

## 1. Title of Invention

POST-CAST EDM METHOD FOR REDUCING  
THE THICKNESS OF A TURBINE NOZZLE WALL

## 2. Claims

1. A method of forming a thin-walled nozzle for a gas turbine wherein the nozzle (10) has a cavity (18) opening between radial inner and outer opposite ends of the nozzle, comprising the steps of:

casting the nozzle containing the cavity; and

removing cast material (34) along a post-cast interior wall of said cavity using an electrodischarge machining apparatus including an electrode (28, 42) to form a final interior wall surface, thereby reducing the thickness of the wall between an exterior surface of the nozzle and the final interior wall surface of the said cavity.

2. A method according to Claim 1 including using a thin electrode (28) electrodischarge machining process to remove the cast material.

3. A method according to Claim 2 including guiding the thin electrode along the interior wall of the cavity.

4. A method according to Claim 1 wherein the cavity (18) lies adjacent a leading edge of said nozzle and removing the cast material along an interior wall of said cavity opposite said leading edge.

5. A method according to Claim 1 wherein the electrode used in the electrodischarge machining process has a roughened surface (40) and applying the electrode to the interior wall to form a generally complementary roughened interior wall surface in said cavity.

6. A method according to Claim 1 including using an electrodischarge machining apparatus having an electrode to remove the cast material wherein

the electrode has a roughened surface, and applying the electrode to the interior wall to form a generally complementary roughened interior wall surface in said cavity.

7. A method according to Claim 1 wherein the electrodischarge machining apparatus includes a profile (42), and including forming a surface (44) of the profile in conformance to a final contour of the interior wall surface of said cavity and applying the profile to the interior wall of said cavity to remove the cast material until the surface of the profile and the interior wall surface are substantially complementary to one another.

8. A method according to Claim 7 including forming a roughened surface (50) on the profile surface and forming a complementary roughened interior wall surface of the cavity upon application of the profile to the interior wall.

9. A method according to Claim 1 wherein the electrode used in the electrodischarge machining process is a thin electrode (28) having a roughened surface (40) and the cavity lies adjacent a leading edge of said nozzle, including the step of guiding the roughened thin electrode along the interior wall of the cavity opposite said leading edge to form a generally complementary roughened interior wall surface in said cavity.

10. A method according to Claim 1 wherein the electrodischarge machining apparatus includes a profile (42), and including the steps of forming a surface of the profile in conformance to a final contour (48) of the interior wall surface of said cavity and applying the profile to the interior wall (46) of said cavity (18) to remove the cast material until the surface (44) of the profile and the interior wall surface (48) are substantially complementary to one another.

### **3. Detailed Description of Invention**

#### **TECHNICAL FIELD**

The present invention relates to a method of using electrodischarge machining apparatus for reducing the thickness of turbine nozzle walls and particularly to a post-cast operation using EDM apparatus to remove material from an interior wall of a cavity extending within and between opposite ends of the nozzle to reduce thermal stresses and improve casting yields.

#### **BACKGROUND OF THE INVENTION**

In gas turbine designs, axially spaced annular arrays of nozzles form the nozzle stages of the turbine and each array is comprised of nozzle segments arranged circumferentially about the axis of the turbine rotor. Each nozzle segment includes one or more vanes and inner and outer band sections preferably integrally formed of a cast material, for example, a nickel-based alloy. Cavities are cast in the nozzle vane(s) between the band sections for flowing a cooling medium to cool the nozzles. It will be appreciated that a temperature differential exists between the thermal medium flowing in the nozzle cavity and the hot gases of combustion flowing along the hot gas path of the turbine. That temperature differential causes thermal stresses in the material of the nozzle. By reducing the wall thickness between the interior surface of the cavity and the exterior surface of the nozzle and particularly adjacent the leading edge of the nozzle, these thermal stresses caused by the temperature differentials can be minimized. Thin-walled investment castings for nozzles are, however, difficult to manufacture. Tolerance control, as well as material soundness are effected by the wall thickness. Generally, the thinner the wall, the more difficult it is to cast the nozzle, resulting in reduced casting yields. Accordingly, there has developed a need for a process for

reducing the wall thickness of turbine nozzles, which not only reduces thermal stresses but which also improves casting yields.

#### BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

In accordance with a preferred embodiment of the present invention, there is provided a method of removing material from the interior wall of the turbine nozzle to reduce the nozzle wall thickness and hence the thermal induced stresses, while improving casting yields. Particularly, a post-cast electrodischarge machining process is used to remove material from the inner wall of the nozzle cavity. In a preferred embodiment, the EDM process employs a thin electrode disposed within the cavity of the nozzle and movable along the interior wall of the cavity to remove material and hence reduce the wall thickness to a desired thickness. By performing this machining operation subsequent to casting the nozzle, casting tolerance control and material soundness are vastly improved, resulting in increased casting yields, while simultaneously the desired reduction in thermal stresses is obtained by the resulting reduced wall thickness.

In another preferred embodiment of the present invention, an EDM process using an electrode in the form of a profile and a plunge cut can also be employed. In this embodiment, a profile having a surface in conformance with a final contour of the interior wall surface of the cavity is applied against the interior wall of the cavity. As the profile is advanced against the interior cavity wall, material is removed such that the surface of the profile and the interior wall surface become substantially complementary. The profile advance continues until the desired wall thickness is obtained.

In both preferred embodiments, a roughened interior wall surface may also be formed. For example, protuberances may be formed on the electrode surface to provide a roughened thin electrode may be used whereby the movement of

the roughened electrode along the interior wall of the cavity forms a final interior wall surface with a complementary roughened surface. The profile similarly may have a roughened surface such that the final contour of the interior wall surface of the cavity will be complementarily roughened similarly as the roughened surface of the profile.

In a preferred embodiment according to the present invention, there is provided a method of forming a thin-walled nozzle for a gas turbine wherein the nozzle has a cavity opening between radial inner and outer opposite ends of the nozzle, comprising the steps of casting the nozzle containing the cavity and removing cast material along a post-cast interior wall of the cavity using an electrodischarge machining apparatus including an electrode to form a final interior wall surface, thereby reducing the thickness of the wall between an exterior surface of the nozzle and the final interior wall surface of the cavity.

## DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

Referring to Figure 1, there is illustrated a nozzle segment, generally designated 10, having inner and outer band sections 12 and 14, respectively, adjacent opposite ends of a single nozzle vane 16. It will be appreciated that the illustrated nozzle segment forms one of a plurality of nozzle segments arranged in a circumferential array thereof about a rotor axis to form a nozzle stage of a turbine with the inner and outer band sections 12 and 14, respectively, forming portions of the inner and outer bands of the nozzle stage. Also, while a single vane 16 is illustrated between the inner and outer band sections 12 and 14, respectively, it will be appreciated that two or more vanes may be disposed between the band sections to form, for example, a vane doublet or triplet. As illustrated, the nozzle vane 16, as well as the inner and outer band sections 12 and 14, have internal cavities which extend the length of the vane. For example, as illustrated in Figure 1, a leading edge cavity 18 is illustrated forward of intermediate cavities 20, 22, 24 and a trailing edge cavity 26. While not forming a part of this invention, it will be appreciated that the cavities provide passages for flowing a thermal medium for cooling the inner and outer bands and vanes which are exposed to the hot gases of combustion flowing along the hot gas path through the turbine. For

example, air or steam or both air and steam may be passed through respective cavities to cool the bands and nozzles.

The nozzle segments 10 are formed of a cast material, preferably a nickel alloy. It will be appreciated that thermal stresses in the nozzles can be minimized by reducing the thickness of the wall exposed to hot gases of combustion and the cooling medium flowing through cavities and this is particularly true with respect to the wall about the leading edge of the vane. It will be appreciated that tolerances and wall thickness controls become increasingly more difficult as the wall thicknesses of the castings are decreased, resulting in reduced casting yields. In accordance with a preferred embodiment of the present invention, improved casting yields, as well as reduced wall thickness, particularly between the outer surface of the leading edge and the interior wall surface of the leading edge cavity, can be accomplished by removing material from the inside surface of the cavity wall by a post-cast electrodischarge machining method.

Particularly, and referring to Figures 1 and 2, and in a preferred form of the present invention, an electrode 28 (Figure 1), e.g., a thin rod, forming part of an electrodischarge machining apparatus is passed into a cavity of the vane 16 between its opposite ends, e.g., through the inner and outer band sections 12 and 14, respectively, and the leading edge cavity 18. Electrodischarge machining apparatus is *per se* conventional. In the present application of such apparatus, it will be appreciated that the thin electrode 28 is fixtured at opposite ends and is preferably robotically movable to follow a predetermined path along wall 31 of the cast cavity, for example, cavity 18. As illustrated in Figure 2, the wall 31 is cast and has a substantial thickness between its cast interior wall surface 30 and exterior wall surface 33 at the leading edge of the vane 16. The cast wall thickness is indicated by the distance between the outer wall surface 33 and the dashed line 30 in Figure 2.

To reduce the thickness of that wall, the thin electrode 28 is passed through the cavity 18 and moved to transcribe a surface corresponding to the desired inner wall surface, indicated in Figure 2 by the full line 32, hence forming the desired wall thickness. As the thin electrode 28 is displaced along that desired path, the material of the inner wall of the cavity is cut and may be removed as a single piece, for example, the removed material piece 34 illustrated in Figure 1. Thus, it will be appreciated that the thin electrode 28 transcribes a path corresponding to the desired inner wall surface 32 thereby cutting along the wall 31 of the cavity 18, with the result that the desired thin-wall configuration is formed post-cast.

Referring to Figure 3, the path of movement of the electrode 28 along the wall 31 is indicated by the datum points 36 and 38 in Figure 3, at the respective upper and lower ends of the vanes or external to the vanes. By passing the electrode sequentially through the datum points 36 and 38, the desired compound curved surface can be formed along the inside wall of the cavity. It will be appreciated that the electrode 28 extends linearly and maintains its linear extent as it is displaced along the cavity wall.

It is known that heat transfer characteristics can be improved by using roughened surfaces, for example, between a cooling medium and a surface to be cooled. Consequently, it is desirable to roughen the resulting interior wall surface 32 of the cavity as the wall thickness is being reduced. To accomplish this, the thin electrode 28 may have a roughened surface 40, as illustrated in Figure 4. As the thin electrode is displaced along the predetermined path, the interior wall surface is roughened complementary to the roughened surface of the wire electrode for enhanced thermal effectiveness.

Referring now to Figures 5, 6A and 6B, an EDM plunge cut process is used. Particularly, an electrode in the form of a profile, is used in lieu of a thin electrode. As illustrated in Figure 5, the profile 42 forms the electrode of the



EDM apparatus and extends through the cavity 18 similarly as the thin electrode 28. The profile 42 has a forward surface 44 which corresponds to the final desired interior wall surface of the inner cavity after the EDM process is complete. Thus, by inserting the profile 42 into the cavity 18, the forward surface 44 of the profile 42 is brought to bear against the existing cast interior wall surface 46 of the cavity 18 as illustrated in Figure 6A. By advancing the profile 42 toward the desired interior wall surface configuration 48, the final wall surface 48 may be formed. That is, by advancing the profile 42 as illustrated by the arrow in Figure 6B into engagement with the cast interior wall surface 46 and continuing to advance the profile 42, the material is cut away until the forward surface 44 of the profile 42 and the interior wall surface 48 are complementary to one another and in the appropriate location within the cavity defining the desired wall thickness. It will also be appreciated that the profile 42 may have a roughened surface 50 (Figure 5) similarly as the thin electrode such that the final interior wall surface 48 of the cavity may have a roughened surface complementary to the roughened surface of the profile for improved heat transfer.

As a consequence of the disclosed methods, casting yields are vastly improved. Concurrently, the wall thickness can be controlled to close tolerances to reduce thermal stresses, as well as improve heat transfer.

While the invention has been described in connection with what is presently considered to be the most practical and preferred embodiment, it is to be understood that the invention is not to be limited to the disclosed embodiment, but on the contrary, is intended to cover various modifications and equivalent arrangements included within the spirit and scope of the claims.

#### 4. Brief Description of Drawings

FIGURE 1 is a perspective view of a nozzle segment illustrating an electrode of an electrodischarge machining apparatus in position for removing material from the interior cavity of a nozzle vane of the segment;

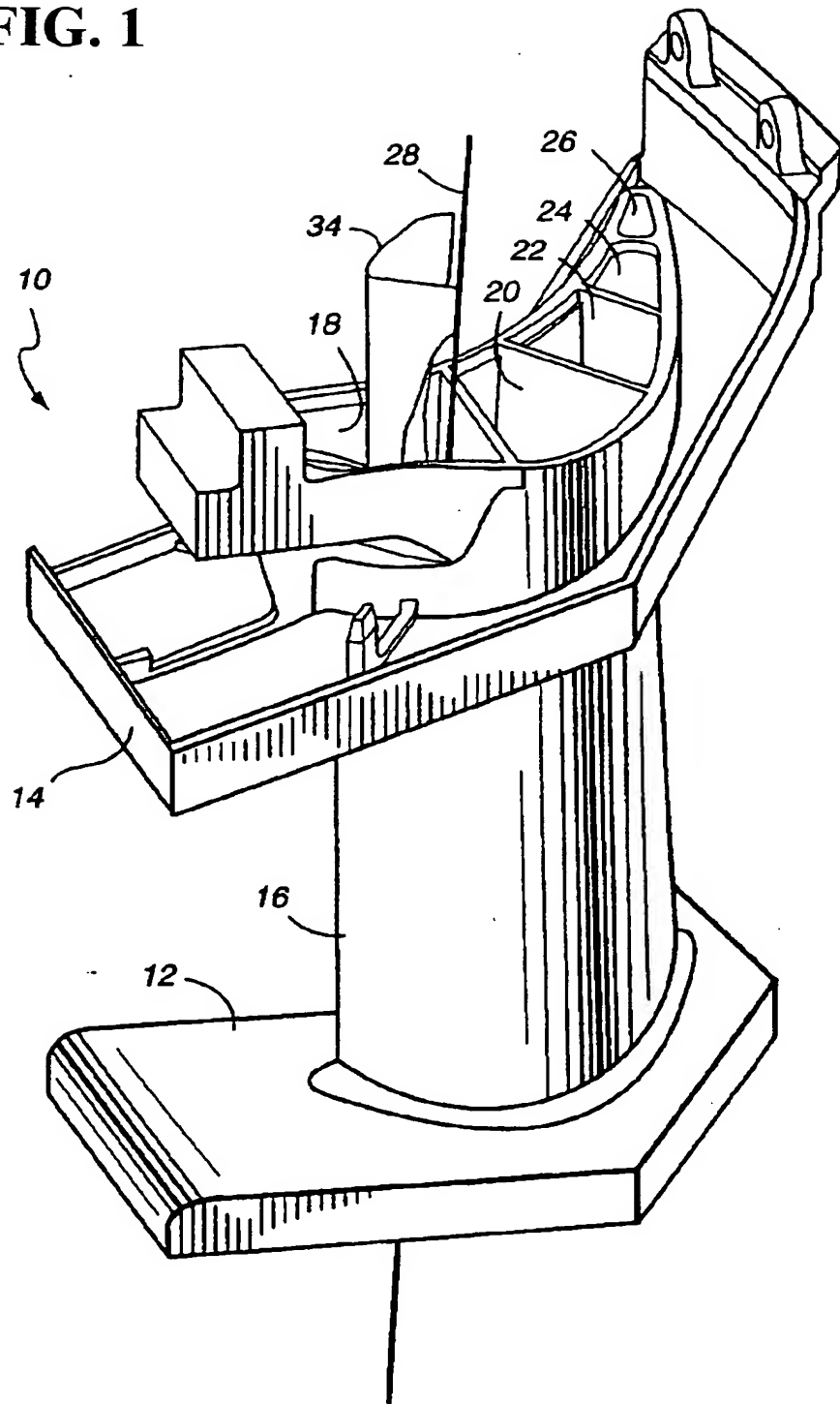
FIGURE 2 is a fragmentary schematic illustration of the leading edge cavity of the vane illustrating the interior wall of the cavity before and after the machining process by the dashed and full-line positions, respectively;

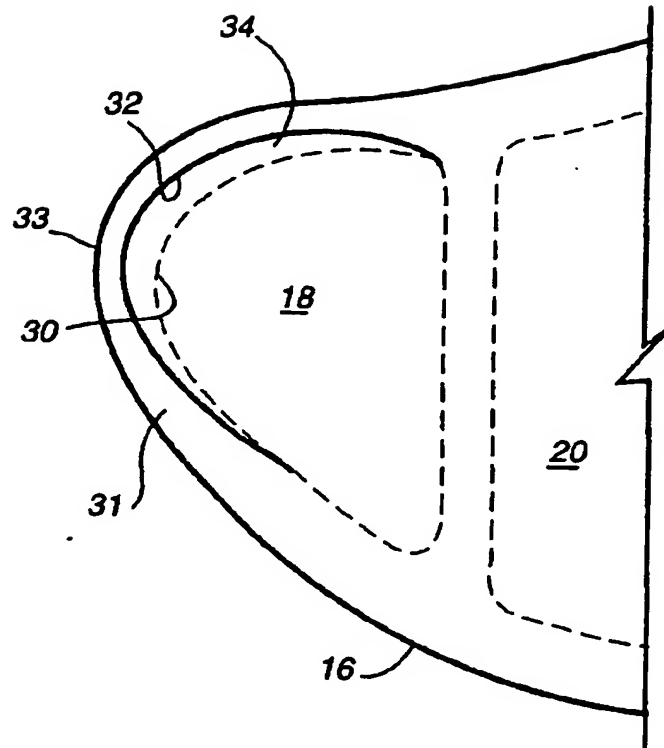
FIGURE 3 is a fragmentary plan view illustrating the outer band of the segment and the interior of the leading edge cavity of the vane with datum points illustrating the material to be removed;

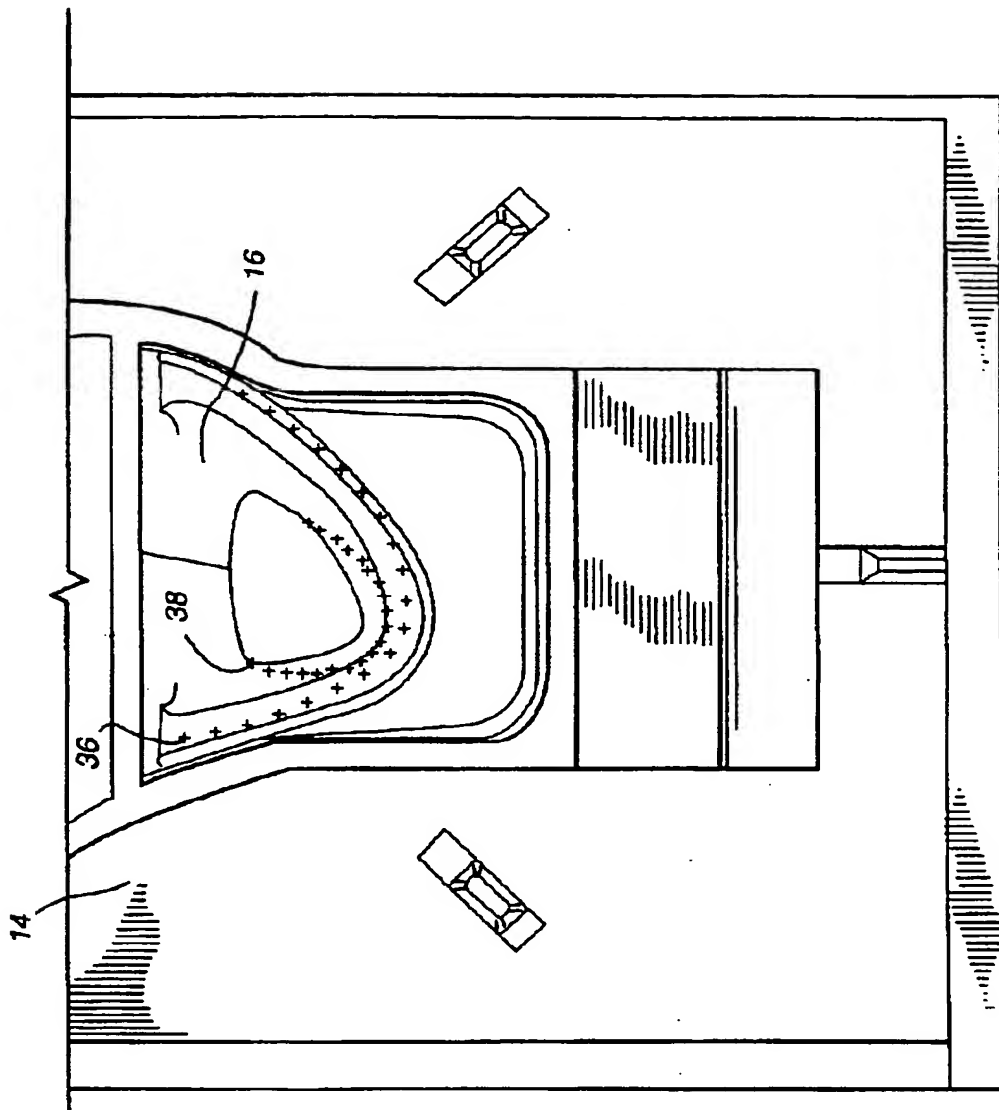
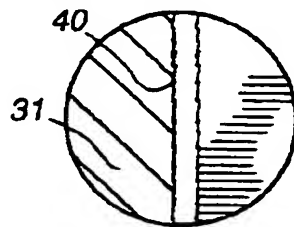
FIGURE 4 is an enlarged fragmentary cross-sectional view illustrating an electrode of an EDM apparatus for forming roughened surfaces along the interior wall of the cavity;

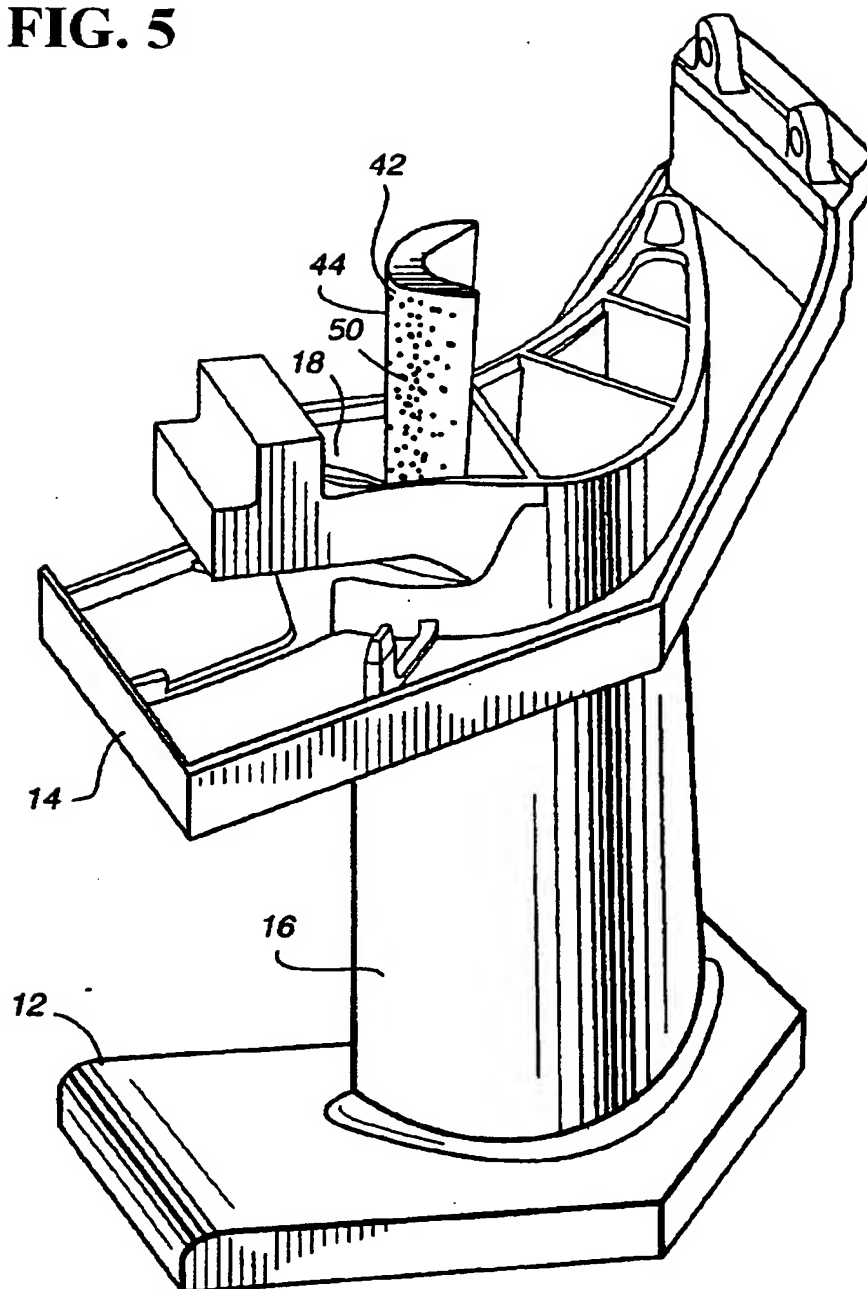
FIGURE 5 is a view similar to Figure 1 illustrating an EDM process using an electrode in the form of a profile for plunge cutting the interior cavity wall; and

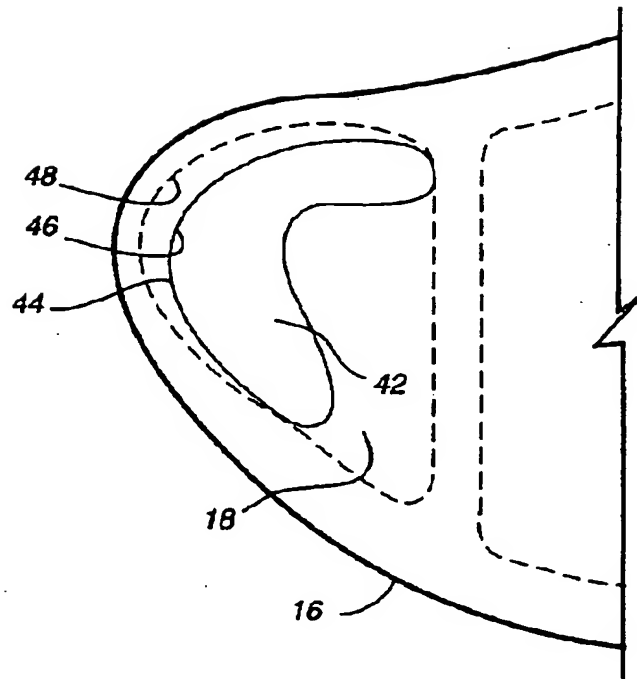
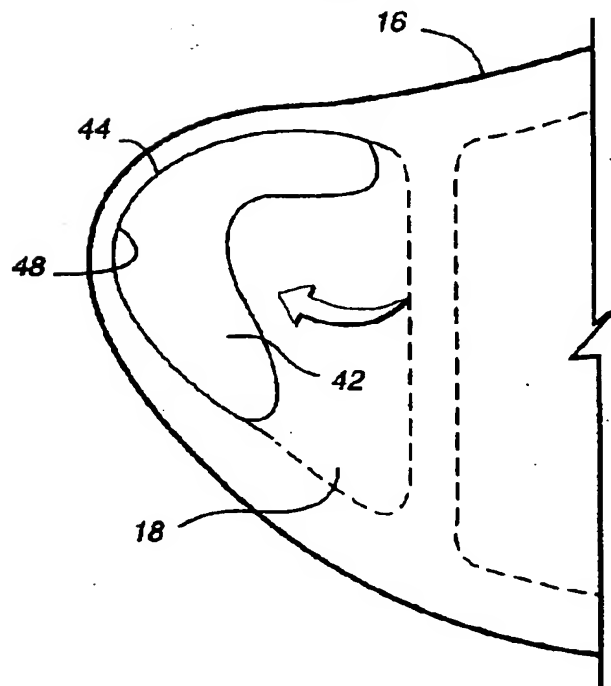
FIGURES 6A and 6B are illustrations of a plunge cut using the profile before and after the cut, respectively.

**FIG. 1**

**FIG. 2**

**FIG. 3****FIG. 4**

**FIG. 5**

**FIG. 6****A****B**

## 1. Abstract

A post-cast EDM process is used to remove material (34) from the interior surface of a nozzle vane cavity of a turbine. A thin electrode (28) is passed through the cavity (18) between opposite ends of the nozzle vane (16) and displaced along the interior nozzle wall to remove the material (34) along a predetermined path, thus reducing the thickness of the wall between the cavity and the external surface of the nozzle. In another form, an EDM process employing a profile (42) as an electrode is disposed in the cavity (18) and advanced against the wall to remove material from the wall until the final wall thickness is achieved, with the interior wall surface being complementary to the profile surface.

## 2. Representative Drawing:

Figure 1